

(19) Organisation Mondiale de la Propriété  
Intellectuelle  
Bureau international



(43) Date de la publication internationale  
11 décembre 2003 (11.12.2003)

PCT

(10) Numéro de publication internationale  
WO 03/103003 A1

(51) Classification internationale des brevets<sup>7</sup> :  
H01J 37/32, H05H 1/46

(21) Numéro de la demande internationale :  
PCT/FR03/01661

(22) Date de dépôt international : 3 juin 2003 (03.06.2003)

(25) Langue de dépôt : français

(26) Langue de publication : français

(30) Données relatives à la priorité :  
02/06837 4 juin 2002 (04.06.2002) FR

(71) Déposant (pour tous les États désignés sauf US) :  
CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE (CNRS) [FR/FR]; 3, rue Michel-Ange,  
F-75016 Paris (FR).

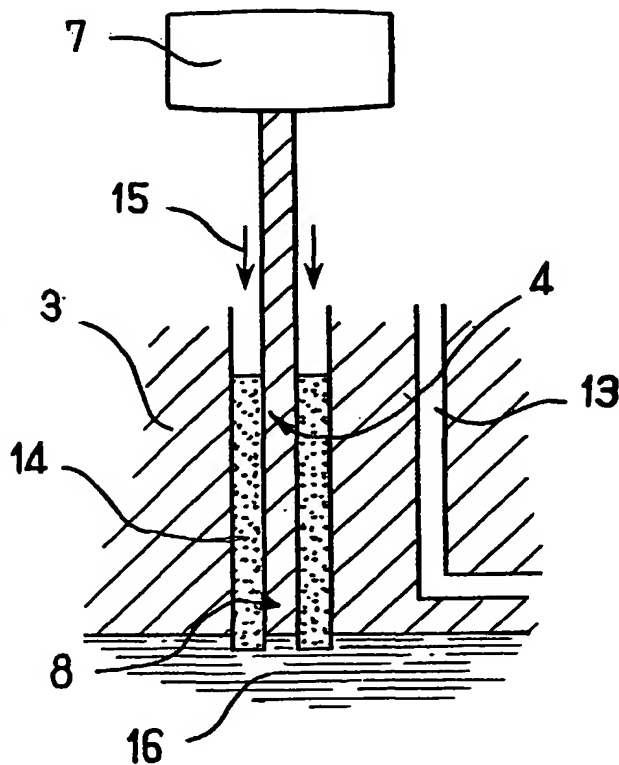
(72) Inventeurs; et

(75) Inventeurs/Déposants (pour US seulement) : LA-  
GARDE, Thierry, Léon [FR/FR]; 1725A, route de  
Fontagneux, F-38450 Vif (FR). LACOSTE, Ana [FR/FR];  
44, avenue Général Leclerc, F-38950 St Martin le Vinoux  
(FR). PELLETIER, Jacques [FR/FR]; 8, Chemin Du  
Fort, Le Mûrier, F-38400 Saint Martin D'Hères (FR).  
ARNAL, Yves, Alban-Marie [FR/FR]; 5, allée de la  
Treille, F-38320 Poisat (FR).

[Suite sur la page suivante]

(54) Title: DEVICE FOR PRODUCTION OF A PLASMA SHEET

(54) Titre : DISPOSITIF DE PRODUCTION D'UNE NAPPE DE PLASMA



(57) Abstract: The invention relates to a device for the production of a plasma (16) within a housing comprising means for the generation of energy in the microwave spectrum, for the excitation of the plasma, said means comprise at least one basic plasma excitation device with a coaxial applicator (4) of microwave energy, one of the ends of which is connected to a production source (7) of microwave energy, the other end (8) of which is directed to the gas to be excited within the housing. The device is characterised in that each basic plasma excitation device is arranged in the wall (3) of the housing, each applicator (4) having a central core (5) which is essentially flush with the wall of the housing. The central core and the thickness of the wall (3) of the housing are separated by a space (6) coaxial to the central core, said space being totally filled, at least at the end of each applicator, by a dielectric material (14), such that said material is essentially flush with the level of the wall of the housing.

(57) Abrégé : L'invention concerne un dispositif de production d'un plasma (16) dans une enceinte comportant des moyens de production d'une énergie dans le domaine des micro-ondes en vue de l'excitation du plasma, ces moyens comportant au moins un dispositif élémentaire d'excitation de plasma comportant un applicateur (4) coaxial d'une énergie micro-onde dont une des extrémités est reliée à une source de production (7) d'une énergie micro-onde, l'autre extrémité (8) étant dirigée vers le gaz à exciter à l'intérieur de l'enceinte, caractérisé en ce que chaque dispositif élémentaire d'excitation est disposé dans la paroi (3) de l'enceinte, chaque applicateur (4) comportant une âme centrale (5) qui affleure sensiblement avec la paroi de l'enceinte, l'âme centrale et l'épaisseur de la paroi (3) de l'enceinte étant séparées par un espace (6) coaxial à l'âme centrale, cet espace étant totalement rempli au moins à l'extrémité de chaque applicateur par un matériau diélectrique (14) de façon à ce que ledit matériau affleure sensiblement avec le niveau de la paroi

[Suite sur la page suivante]



(74) Mandataires : MARTIN, Jean-Jacques etc.; Cabinet Regimbeau, 20, rue de Chazelles, F-78547 Paris Cedex 17 (FR).

(81) États désignés (*national*) : AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NI, NO, NZ, OM, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

(84) États désignés (*régional*) : brevet ARIPO (GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), brevet eurasien (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), brevet

européen (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), brevet OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

**Publiée :**

- avec rapport de recherche internationale
- avant l'expiration du délai prévu pour la modification des revendications, sera republiée si des modifications sont reçues

En ce qui concerne les codes à deux lettres et autres abréviations, se référer aux "Notes explicatives relatives aux codes et abréviations" figurant au début de chaque numéro ordinaire de la Gazette du PCT.

## DISPOSITIF DE PRODUCTION D'UNE NAPPE DE PLASMA.

### DOMAINE TECHNIQUE GENERAL DE L'INVENTION

La présente invention concerne le domaine technique général de la  
5 production de plasmas à pression intermédiaire excités par une puissance  
micro-onde.

Plus précisément l'invention concerne la production de nappes de  
plasmas denses, de grandes dimensions devant l'épaisseur du plasma,  
dans le domaine des moyennes pressions ou pressions intermédiaires,  
10 c'est-à-dire de l'ordre de quelques dixièmes de Pa à quelques milliers de  
Pa, ou de l'ordre de quelques millitorr à quelques dizaines de torr. (On  
rappelle que 1 torr vaut approximativement 133 Pa)

La présente invention concerne des applications très diverses, telles  
que les traitements de surface, par exemple le nettoyage des surfaces  
15 défilant à grande vitesse, et surtout le dépôt de diamants par dépôt  
chimique en phase vapeur assistée par plasma (CVD plasma - « Chemical  
Vapor Deposition » plasma selon la terminologie anglo-saxonne  
généralement utilisée).

En particulier, l'invention présente un intérêt pour les applications  
20 nécessitant des procédés utilisant des plasmas uniformes à des pressions  
intermédiaires sur de grandes surfaces.

### ETAT DE L'ART

Toutes les applications sus-mentionnées nécessitent la production  
25 préalable d'un plasma dense et uniforme dans une enceinte, par exemple  
dans celle où se déroule l'application.

On rappelle qu'un plasma est un milieu gazeux, conducteur,  
constitué d'électrons, d'ions et de particules neutres, macroscopiquement  
neutre électriquement. Un plasma est obtenu notamment par ionisation d'un  
30 gaz par les électrons.

Généralement, les dépôts de diamant par CVD plasma sont  
effectués dans des plasmas d'hydrogène, contenant un faible pourcentage

de méthane à une pression totale de quelques dizaines de torr, et une température de substrats de l'ordre de 600 à 800° C, voire plus.

Le mélange peut contenir aussi des gaz précurseurs pour le dopage du diamant, ou des impuretés modifiant la croissance du diamant.

- 5 Les plasmas utilisés pour les dépôts de diamant par CVD plasma sont généralement excités par des micro-ondes. Deux types de procédés d'excitation dans des réacteurs sont possibles.

1/ On peut exciter le plasma par une onde de surface. Le schéma de principe de ce type d'excitateur est représenté sur la figure 1.

- 10 L'excitateur du plasma comporte un applicateur micro-onde 1 dans le prolongement duquel est fixé un tube diélectrique 2 directement en contact avec le plasma 3 à exciter. Le tube diélectrique 2 comporte un évasement 5, qui dirige les micro-ondes et le plasma vers le substrat 4, qui baigne dans le plasma 3.

- 15 2/ On peut utiliser un applicateur micro-onde de type cavité. Le schéma de principe de ce type d'applicateur est représenté à la figure 2. Dans un réacteur 1, le plasma 3 est produit en réponse à une excitation de la part d'une antenne 2 permettant le couplage des micro-ondes à la cavité. Le plasma 3 est excité sous un dôme de quartz 5. Le dépôt est effectué sur  
20 un substrat 4 disposé lui aussi sous le dôme 5 et baignant dans le plasma 3.

- Les deux types d'excitation présentés permettent de produire des plasmas denses (typiquement  $10^{12}/\text{cm}^3$ ) permettant de déposer du diamant, notamment à une vitesse de quelques micromètres par heure, sur des  
25 substrats de quelques centimètres de diamètre.

Les techniques précédentes présentent cependant des inconvénients.

- En effet, les plasmas produits par ces deux techniques nécessitent pour leur entretien plusieurs kW pour un substrat de diamètre 100 mm, et  
30 donc l'inconvénient majeur de ces techniques de dépôt de diamant est la difficulté d'extension d'échelle des réacteurs.

En ce qui concerne les décharges à onde de surface de la figure 1, le diamètre utile de plasma peut être accru par évasement du tube de silice 5

utilisé au-delà de l'applicateur micro-onde 1. Il faut cependant des densités de puissance micro-onde telles, que l'emploi d'un liquide de refroidissement sans perte diélectrique est impératif. La circulation de ce fluide s'effectue dans l'applicateur, dans un circuit de distribution à double paroi qui est très onéreux.

De plus, l'extension d'échelle de ce type de réacteur présente des limitations technologiques en terme de diamètre maximum réalisable. En effet, la puissance micro-onde délivrée par un générateur unitaire ne peut pas être augmentée de façon sensible. Les générateurs micro-ondes disponibles en mode continu à 2,45 GHz ne dépassent en effet généralement pas 12kW, ce qui est insuffisant pour produire des plasmas permettant les applications visées.

Enfin les guides d'ondes rectangulaires standards en mode de propagation unique utilisés dans les applicateurs des micro-ondes ont des grands côtés ne dépassant pas 8,6 cm - ce qui correspond au standard européen.

La solution consistant à réduire la fréquence d'excitation et à utiliser la fréquence ISM (Industrielle, Scientifique et Médicale) de 915 MHz permet d'augmenter les dimensions des guides d'ondes – dans le rapport de l'inverse des fréquences - et d'obtenir des puissances unitaires en mode continu jusqu'à 30 kW.

Elle n'est cependant pas totalement satisfaisante. En effet, les dimensions des composants micro-ondes - tels que le piston court-circuit, les adaptateurs d'impédance, les bi-coupleurs pour la mesure des puissances – augmentent corrélativement. Il semble alors que les limites technologiques sont désormais atteintes, et que les diamètres maximaux du substrat que l'on peut traiter sont de l'ordre de 100 à 150 mm.

En ce qui concerne les décharges micro-ondes données par les applicateurs micro-onde de type cavité, les mêmes problèmes se posent.

En effet, l'augmentation d'échelle de la cavité impose soit de passer en cavité multimodes, ce qui ne permet plus d'obtenir un plasma uniforme au niveau du substrat, soit de diminuer la fréquence des micro-ondes jusqu'à 915 MHz. La diminution de fréquence procure les mêmes avantages

que précédemment, mais procure également les mêmes inconvénients. On ne peut traiter que des substrats de diamètre maximal de l'ordre de 100 à 150 mm.

## 5 PRESENTATION DE L'INVENTION

L'invention propose de pallier ces inconvénients.

Notamment, l'invention a pour objet la production d'une tranche ou d'une nappe de plasma de grandes dimensions dans le domaine de pression du torr, à savoir de l'ordre de quelques millitorr à quelques  
10 dizaines de torr.

La production de cette tranche ou de cette nappe s'effectue par excitation micro-onde du gaz, ce qui permet la production de plasma sur un volume dépendant des conditions opératoires, à savoir la pression et la puissance micro-onde injectée sur chaque applicateur.

15 A cet effet, l'invention propose un dispositif de production d'un plasma (16) dans une enceinte comportant des moyens de production d'une énergie dans le domaine des micro-ondes en vue de l'excitation du plasma, ces moyens comportant au moins un dispositif élémentaire d'excitation de plasma comportant un applicateur coaxial d'une énergie micro-onde dont  
20 une des extrémités est reliée à une source de production d'une énergie micro-onde, l'autre extrémité étant dirigée vers le gaz à exciter à l'intérieur de l'enceinte, caractérisé en ce que chaque dispositif élémentaire d'excitation est disposé dans la paroi de l'enceinte, chaque applicateur comportant une âme centrale qui affleure sensiblement avec la paroi de  
25 l'enceinte, l'âme centrale et l'épaisseur de la paroi de l'enceinte étant séparées par un espace coaxial à l'âme centrale, cet espace étant totalement rempli au moins à l'extrémité de chaque applicateur par un matériau diélectrique de façon à ce que ledit matériau affleure sensiblement avec le niveau de la paroi de l'enceinte.

30 L'invention est avantageusement complétée par les caractéristiques suivantes, prises seules ou en une quelconque de leur combinaison techniquement possible :

- le matériau diélectrique est réfractaire ;

- le matériau diélectrique est réalisé en alliage de silice et/ou de nitrure d'aluminium et/ou d'alumine ;
- le matériau diélectrique remplit tout l'espace coaxial ;
- la longueur du matériau diélectrique est égale à un nombre entier de demi
- 5 longueur d'onde des micro-ondes dans le matériau diélectrique ;
- il comporte des joints toriques interposés entre le diélectrique, l'âme centrale d'un applicateur et la paroi interne de l'applicateur ;
- chaque joint torique est encastré dans les parois interne et externe de la structure coaxiale ;
- 10 - une âme centrale se termine par un aimant permanent encapsulé dans l'âme centrale et affleurant avec les parois de l'enceinte ;
- il comporte une lame diélectrique qui s'étend à l'intérieur de l'enceinte sur la paroi intérieure de celle-ci, cette lame recouvrant complètement les dispositifs d'excitation du plasma ;
- 15 - il comporte dans les parois de l'enceinte des moyens de refroidissement de chaque applicateur ;
- il comporte dans l'âme centrale de chaque applicateur des moyens de refroidissement des applicateurs ;
- la pression du plasma est comprise entre une valeur de l'ordre du millitorr
- 20 et une valeur de l'ordre de quelques dizaines de torr.
- il comporte une pluralité d'applicateurs, les applicateurs étant disposés en réseau bidimensionnel dans la paroi de l'enceinte afin d'obtenir la densité d'applicateurs souhaitée pour un domaine de pression souhaité.

## 25 PRESENTATION DES FIGURES

D'autres caractéristiques, buts et avantages de l'invention ressortiront de l'invention qui suit qui est purement illustrative et non limitative, et qui doit être lue en regard des dessins annexés sur lesquels :

La figure 1, déjà commentée, représente schématiquement un

30 applicateur d'excitation du type onde de surface selon l'état de la technique ;

La figure 2, déjà commentée, représente schématiquement un réacteur d'excitation de plasma du type cavité selon l'état de la technique ;

La figure 3 est une vue schématique en coupe d'un mode de réalisation possible de l'invention comportant un seul applicateur ;

La figure 4 est une vue schématique en coupe d'un mode de réalisation possible de l'invention comportant plusieurs applicateurs ;

5 La figure 5 est une vue représentant une disposition rapprochée des applicateurs ;

La figure 6 est une vue de face d'un réseau bidimensionnel carré d'applicateurs ;

La figure 7 est une vue de face d'un réseau bidimensionnel hexagonal d'applicateurs ;

La figure 8 représente le recouvrement de la paroi du réacteur avec une plaque diélectrique ;

La figure 9 représente schématiquement un mode de réalisation possible de montage de joints toriques d'étanchéité; et

15 La figure 10 est une représentation d'un perfectionnement d'un mode de réalisation de l'invention comportant un aimant permanent à l'extrémité de l'applicateur.

#### DESCRIPTION DETAILLEE DE L'INVENTION

20 La figure 3 illustre schématiquement un mode de réalisation possible d'un dispositif 1 de production d'un plasma.

Le dispositif 1 comprend de façon classique une enceinte étanche 3, équipée de nombreux dispositifs d'introduction de gaz et de pompage de gaz, non représentés mais connus en eux-mêmes. Les dispositifs  
25 d'introduction et de pompage permettent de maintenir la pression du gaz à ioniser à une valeur souhaitée - qui peut être par exemple de l'ordre de quelques dixièmes de Pa à quelques milliers de pascals, c'est-à-dire de l'ordre de quelques millitorr à quelques dizaines de torr, suivant la nature du gaz et la fréquence d'excitation.

30 Classiquement, la paroi de l'enceinte 3 est métallique.

Conformément à ce mode de réalisation possible de l'invention, le dispositif de production 1 comporte un applicateur élémentaire 4 d'excitation.



Selon une variante de ce mode de réalisation schématiquement représenté à la figure 4, le dispositif de production du plasma comporte une série de dispositifs ou applicateurs 4 élémentaires d'excitation d'un plasma 16. Les applicateurs 4 sont alors répartis entre eux en fonction de la densité et de la  
5 pression intérieure de l'enceinte.

Conformément à l'invention, chaque dispositif élémentaire 4 d'excitation de plasma est constitué par un applicateur coaxial de puissance micro-onde comportant une âme centrale 5 entourée d'une cavité 6 rapportée ou directement percée dans la paroi de l'enceinte 3.

10 Préférentiellement, l'âme centrale 5 ainsi que la cavité 6 l'entourant sont de symétrie de révolution.

Une des extrémités de l'applicateur 4 est reliée à une source d'énergie 7 dans le domaine des micro-ondes et extérieure à l'enceinte 3.

L'autre extrémité 8 de l'applicateur 4 est libre et débouche à  
15 l'intérieur de l'enceinte 3. Elle est en contact avec le gaz présent dans l'enceinte 3.

La propagation de l'énergie micro-onde de la source d'énergie 7 à l'extrémité libre 8 s'effectue dans la cavité 6 entourant l'âme centrale de l'applicateur.

20 De manière générale, l'âme centrale 5 de chaque applicateur 4 est refroidie par un circuit de circulation d'eau (non représenté sur les figures).

De la même façon, les figures 3 et 4 montrent que les espaces 12 entre les applicateurs 4 de la paroi 3 sont généralement refroidis par une circulation d'eau 13.

25 Un matériau diélectrique 14 à l'état solide est disposé à l'intérieur de la cavité 6 autour de l'âme centrale 5. Le diélectrique 14 est disposé du côté de l'extrémité libre 8 de l'applicateur 4, sensiblement au niveau de la paroi de l'enceinte. Il peut légèrement dépasser de la paroi de l'enceinte 3 ou être légèrement enfoncé par rapport au niveau de la paroi de l'enceinte 3,  
30 laquelle affleure préférentiellement sensiblement le niveau de l'extrémité de l'âme centrale 5 en contact avec le plasma, comme représenté sur la figure 5.

Il peut selon une variante, remplir l'ensemble de l'espace entre l'âme centrale et la paroi intérieure de la cavité.

Préférentiellement, la longueur du matériau diélectrique est égale à un nombre entier de demi longueur d'onde de l'onde dans le diélectrique, ceci afin de compenser les réflexions et recompositions des ondes aux interfaces. La longueur  $l$  du diélectrique est définie par :

$$\sqrt{\epsilon_r} \times l = k \times \frac{\lambda}{2}$$

où :  $\epsilon_r$  est la permittivité relative du matériau diélectrique

$k$  est un nombre entier

$\lambda$  est la longueur d'onde de l'onde dans le vide.

Le diélectrique 14 est avantageusement « à faible perte ». Il est de préférence réfractaire afin de résister aux fortes températures de certaines applications visées. Il peut être réalisé en alliage par exemple en nitrure d'aluminium (AlN), et/ou en alumine (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), et/ou en silice (SiO<sub>2</sub>).

Les flèches 15 visibles aux figures 3, 4 et 5 représentent la propagation des ondes micro-ondes dans la cavité 6 de chaque applicateur 4. Elles se propagent en direction de l'intérieur de l'enceinte 3 et excite le plasma 16 situé dans ladite enceinte 3.

Les figures 4 et 5 permettent de comparer l'influence de la distance de séparation des applicateurs les uns par rapport aux autres sur la formation du plasma.

On a besoin d'une densité relativement réduite d'applicateurs par unité de surface pour produire un plasma uniforme lorsque la pression du gaz est relativement faible. En effet, le plasma diffuse plus facilement lorsque la pression du gaz est peu élevée. On peut alors ne prévoir qu'un seul applicateur 4 pour la production du plasma sur une dimension donnée.

Par contre, plus la pression du gaz est élevée, plus le plasma sera produit localement. Le plasma ne sera pas uniforme si les applicateurs sont trop éloignés, comme sur la figure 4. On aura donc besoin d'une densité plus importante d'applicateurs par unité de surface, les applicateurs étant eux aussi répartis de façon la plus uniforme possible.

C'est aussi pour cette raison que matériau diélectrique est situé à l'extrémité de l'applicateur, et non pas en retrait par rapport à cette extrémité. Ainsi, on évite la formation de plasma dans l'intérieur de l'applicateur (zone coaxiale, côté utilisation) dans tout le domaine de pression accessible.

Les applicateurs 4 peuvent être disposés selon différents réseaux.

La figure 6 montre une vue de face de la paroi interne de l'enceinte 3. Elle représente la disposition en réseau des extrémités libres 8 des applicateurs 4. Dans ce réseau carré, la distance 17 entre deux extrémités libres 8 définit la densité du réseau.

La figure 7 montre que, pour une même distance 17 entre deux extrémités libres 8, une disposition en réseau hexagonal - schéma référencé par 18 sur la figure - permet d'obtenir une plus grande densité aréolaire d'applicateurs 4.

Une densité plus grande permet une meilleure uniformité d'applicateurs 4, et par conséquent une meilleure uniformité du plasma ainsi produit. On peut également fournir une plus grande densité de puissance micro-onde par unité de surface, à puissance maximale donnée par applicateur 4.

Pour des raisons de clarté, les figures 6 et 7 ne montrent schématiquement que deux extrémités d'applicateurs 4. On distingue les extrémités 5 des âmes centrales, ainsi que les matériaux diélectriques 14.

Pour obtenir une nappe de plasma 16 uniforme de très grandes dimensions, une condition nécessaire est de pouvoir distribuer la puissance micro-onde de façon aussi uniforme que possible sur l'ensemble des applicateurs 4.

Pour cela, il est possible d'utiliser un générateur de puissance micro-onde réglable par applicateur. On peut alors utiliser par exemple pour chaque applicateur une source micro-onde transistorisée.

On peut également utiliser un générateur de puissance micro-onde unique et diviser ensuite cette puissance pour la distribuer à chaque applicateur 4. La puissance micro-onde injectée dans chaque applicateur 4

peut être ajustée facilement et de façon indépendante par un adaptateur d'impédance, disposé juste en amont de chaque applicateur 4.

Certains procédés de dépôt ou de traitement nécessitent une température élevée de la surface d'utilisation. D'autres nécessitent des  
5 températures plus basses.

On rappelle que les parties 12 situées entre deux applicateurs, ainsi que les âmes centrales 5 sont refroidies par des circuits de refroidissement par circulation de fluide, notamment d'eau.

Par conséquent, il est possible què les gaz constituant le plasma  
10 soient refroidis en passant au contact des surfaces refroidies de l'enceinte 3 et refroidissent à leur tour la surface d'utilisation.

On prévoit ainsi un chauffage indépendant d'une surface d'utilisation notamment pour le dépôt de diamant.

La figure 8 montre que l'on peut également interposer une lame  
15 diélectrique 20 à faible perte (comme de la silice par exemple) entre les parties refroidies de chaque applicateur et le plasma, afin d'éviter le refroidissement du plasma au contact des surfaces refroidies par la circulation de fluide. La lame diélectrique 20 peut recouvrir tout ou une partie de l'ensemble des extrémités libres 8 des applicateurs 4.

20 La figure 9 montre que des joints toriques 21 permettent l'étanchéité entre les parties amont (atmosphère) et aval (plasma) des applicateurs 4.

Les joints toriques 21 sont de préférence encastrés dans l'âme centrale 5 et entre les parois de l'enceinte 3 et le presse étoupe 3', afin d'éviter leur échauffement par le passage des micro-ondes. De plus, ce type  
25 d'encastrement permet également d'assurer un meilleur refroidissement, puisqu'ils profitent du circuit de distribution de refroidissement présent dans la paroi 3 ainsi que dans chaque âme centrale 5.

Le dispositif selon l'invention représenté sur les figures 1 à 9 s'applique avantageusement au domaine des moyennes pressions (de  
30 l'ordre de quelques dixièmes de pascals à quelques milliers de pascals, c'est-à-dire de l'ordre de quelques millitorr à quelques dizaines de torr).

Cependant, si on souhaite étendre l'utilisation de l'invention pour une excitation du plasma dans le domaine des basses pressions (de l'ordre de  $10^{-2}$  torr), une variante du dispositif est envisagée.

Sur cette variante, représentée à la figure 10, on dispose à l'extrémité de l'âme centrale 5 de l'applicateur 4 un aimant permanent 22 dont l'axe d'aimantation permanente est avantageusement dans l'axe de l'âme centrale. Cet aimant 22 est encapsulé dans l'âme centrale 5. L'extrémité libre de l'aimant est sensiblement au niveau de l'extrémité libre de la paroi 3 en contact avec le plasma 16.

Avec un tel aimant permanent 22, le démarrage du plasma est facilité dans le domaine des plus basses pressions visées par la présente invention, grâce au confinement de plasma ou à la présence d'une zone de RCE (Résonance Cyclotronique Electronique) près du pôle de l'aimant.

Chaque aimant permanent 22 peut être conventionnel, par exemple en samarium - cobalt, en néodyme - fer - bore, voire en ferrite de baryum et de strontium.

Le réacteur plasma décrit dans la présente demande comporte des moyens de mesure de pression et de diagnostic plasma souhaité (non visible sur les figures)

De même, un porte-substrat utilisé pour les procédés mis en œuvre comporte des moyens de chauffage ou de refroidissement ainsi que tous les moyens de polarisation (continu, pulsée, basse fréquence ou radio fréquence) du substrat nécessaire au procédé utilisé.

## 25 AVANTAGES DE L'INVENTION

L'un des avantages apportés par la présente invention est la possibilité de réaliser l'extension d'échelle des nappes de plasma produite par ladite technologie décrite et de produire des plasmas denses dans la gamme de pression définie dans l'invention.

On peut n'utiliser qu'un seul applicateur.

Mais il n'y a pas de limitation à augmenter le nombre d'applicateurs.

Les applicateurs peuvent être disposés selon n'importe quelle géométrie, et s'adaptent à n'importe quelle configuration d'enceinte, cylindrique notamment.

De même, il est possible d'alimenter en puissance micro-onde autant  
5 d'applicateurs que souhaité par autant de générateur indépendants que nécessaire, avec ou sans division de puissance.

Chaque applicateur peut être alimenté à l'aide d'un câble coaxial, puisque la puissance micro-onde nécessaire à chaque applicateur est relativement faible d'où la grande fiabilité du dispositif global.

10 Un autre avantage est que le refroidissement des applicateurs micro-ondes est facile à assurer par une circulation de liquide dans la partie métallique des applicateurs. Il n'y a pas de nécessité de fournir un fluide diélectrique à faible perte comme dans le cas des décharges à onde de surface de l'état de la technique.

15 Enfin, le contrôle des paramètres interaction plasma/surface est plus facile à maîtriser que dans les dispositifs de l'état de la technique.

Par exemple, si l'on considère un réseau carré d'applicateurs micro-ondes coaxiaux, par exemple d'un diamètre intérieur du conducteur externe 16 mm disposés tous les deux centimètres, l'aire de chaque applicateur est  
20 de 4 cm<sup>2</sup>. Cette aire est réduite à 3,5 cm<sup>2</sup> environ dans le cas d'une structure hexagonale.

Dans le cas d'une nappe de plasma de 2 cm d'épaisseur, fixée par exemple par la distance applicateur-surface d'utilisation, le volume de plasma crée par chaque applicateur est de 8 cm<sup>3</sup> pour un réseau carré, et  
25 de 7 cm<sup>3</sup> pour un réseau hexagonal.

Pour une puissance micro-onde par applicateur de 200 W, la densité de puissance maximale fournie au plasma est de 25 W/cm<sup>3</sup> pour un réseau carré, et de 28,5 W/cm<sup>3</sup> pour un réseau hexagonal.

Dans les deux cas, il est ainsi possible d'appliquer jusqu'à 5 kW par  
30 surface 100 mm x 100mm pour un réseau carré, soit 25 applicateurs, et un peu plus pour un réseau hexagonal.

Un autre avantage est la simplicité de réalisation de chaque applicateur élémentaire.

La fréquence micro-onde utilisée n'est pas critique, et il est possible d'utiliser l'une des fréquences ISM (Industrielle, Scientifique et Médicale) comme le 915 MHz ou le 2,45 GHz, ou toute autre fréquence.

## REVENDICATIONS.

- 5 1. Dispositif de production d'un plasma (16) dans une enceinte comportant des moyens de production d'une énergie dans le domaine des micro-ondes en vue de l'excitation du plasma, ces moyens comportant au moins un dispositif élémentaire d'excitation de plasma comportant un applicateur (4) coaxial d'une énergie micro-  
10 onde dont une des extrémités est reliée à une source de production (7) d'une énergie micro-onde, l'autre extrémité (8) étant dirigée vers le gaz à exciter à l'intérieur de l'enceinte, caractérisé en ce que chaque dispositif élémentaire d'excitation est disposé dans la paroi (3) de l'enceinte, chaque applicateur (4) comportant une âme centrale (5) qui affleure sensiblement avec la paroi de l'enceinte, l'âme centrale et l'épaisseur de la paroi (3) de l'enceinte étant  
15 séparées par un espace (6) coaxial à l'âme centrale, cet espace étant totalement rempli au moins à l'extrémité de chaque applicateur par un matériau diélectrique (14) de façon à ce que ledit matériau affleure sensiblement avec le niveau de la paroi de l'enceinte.
- 20 2. Dispositif selon la revendication 1, caractérisé en ce que le matériau diélectrique (14) est réfractaire.
- 25 3. Dispositif selon la revendication 2, caractérisé en ce que le matériau diélectrique (14) est réalisé en alliage de silice et/ou de nitrure d'aluminium et/ou d'alumine.
4. Dispositif selon l'une des revendications 1 à 3, caractérisé en ce que le matériau diélectrique remplit tout l'espace coaxial (6).
- 30 5. Dispositif selon l'une des revendications 1 à 3, caractérisé en ce que la longueur du matériau diélectrique est égale à un nombre entier de demi longueur d'onde des micro-ondes dans le matériau diélectrique.



6. Dispositif selon l'une des revendications 1 à 5, caractérisé en ce qu'il comporte des joints toriques (21) interposés entre le diélectrique (14), l'âme centrale d'un applicateur et la paroi interne de l'applicateur.
- 5
7. Dispositif selon la revendication 6, caractérisé en ce que chaque joint torique (21) est encastré dans les parois interne et externe de la structure coaxiale.
- 10
8. Dispositif selon l'une des revendications 1 à 7, caractérisé en ce qu'une âme centrale (5) se termine par un aimant permanent (22) encapsulé dans l'âme centrale et affleurant avec les parois de l'enceinte.
- 15
9. Dispositif selon l'une des revendications 1 à 8, caractérisé en ce qu'il comporte une lame diélectrique (20) qui s'étend à l'intérieur de l'enceinte sur la paroi intérieure de celle-ci, cette lame recouvrant complètement les dispositifs d'excitation du plasma.
- 20
10. Dispositif selon l'une des revendications 1 à 9, caractérisé en ce qu'il comporte dans les parois de l'enceinte des moyens (12) de refroidissement de chaque applicateur (4).
- 25
11. Dispositif selon l'une des revendications 1 à 10, caractérisé en ce qu'il comporte dans l'âme centrale (5) de chaque applicateur (4) des moyens de refroidissement des applicateurs.
- 30
12. Dispositif selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que la pression du plasma (16) est comprise entre une valeur de l'ordre du millitorr et une valeur de l'ordre de quelques dizaines de torr.

- 5 13. Dispositif selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce qu'il comporte une pluralité d'applicateurs (4), les applicateurs étant disposé en réseau bidimensionnel dans la paroi de l'enceinte afin d'obtenir la densité d'applicateurs souhaitée pour un domaine de pression souhaité.

1 / 5

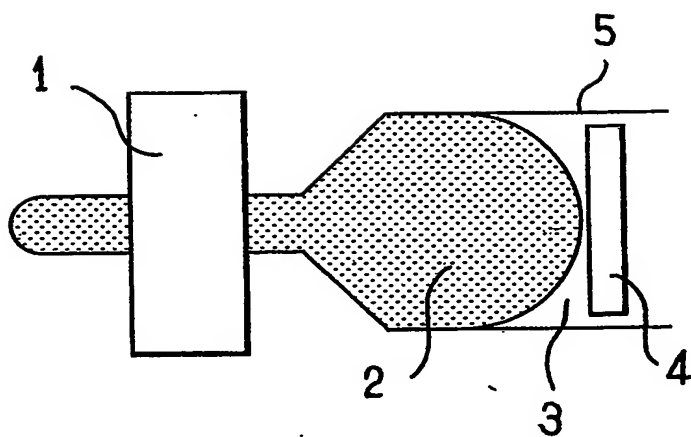


FIG.1

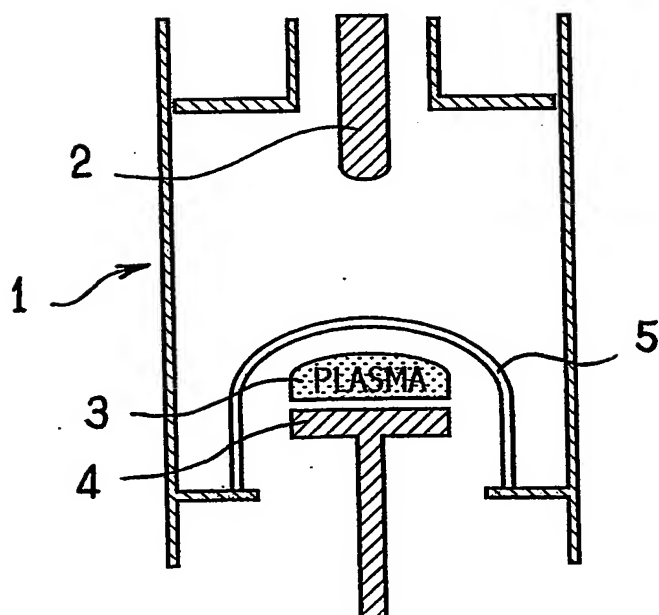
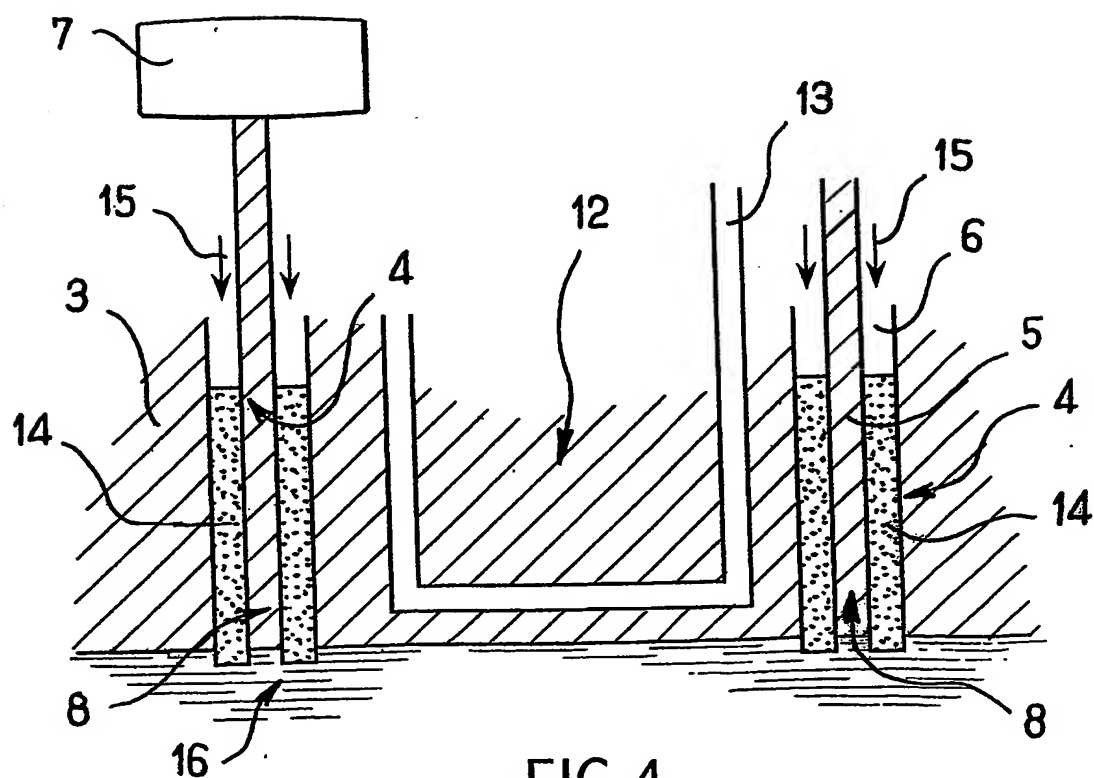
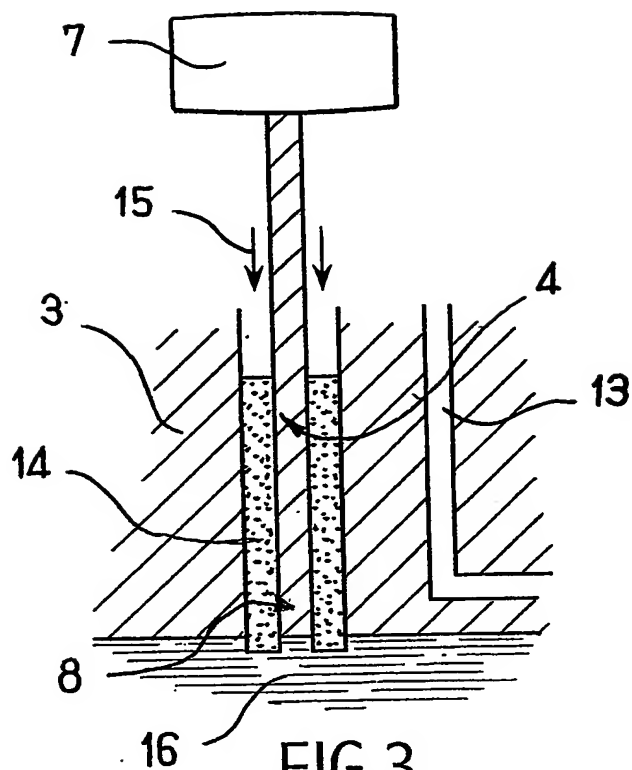


FIG.2

2 / 5



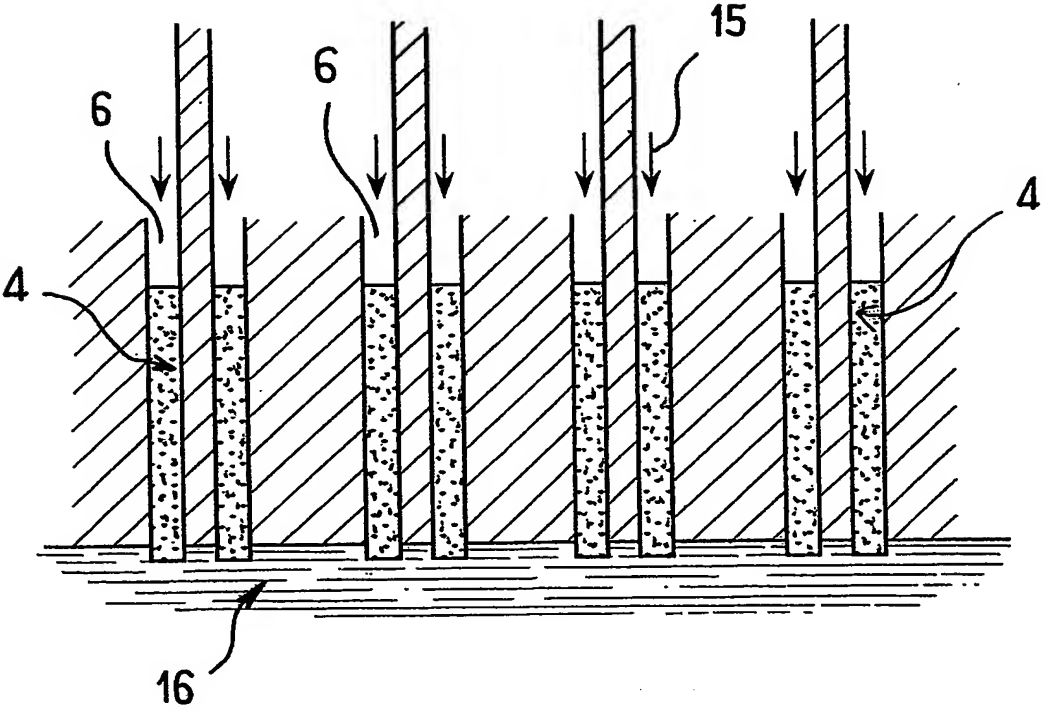


FIG.5



5 / 5

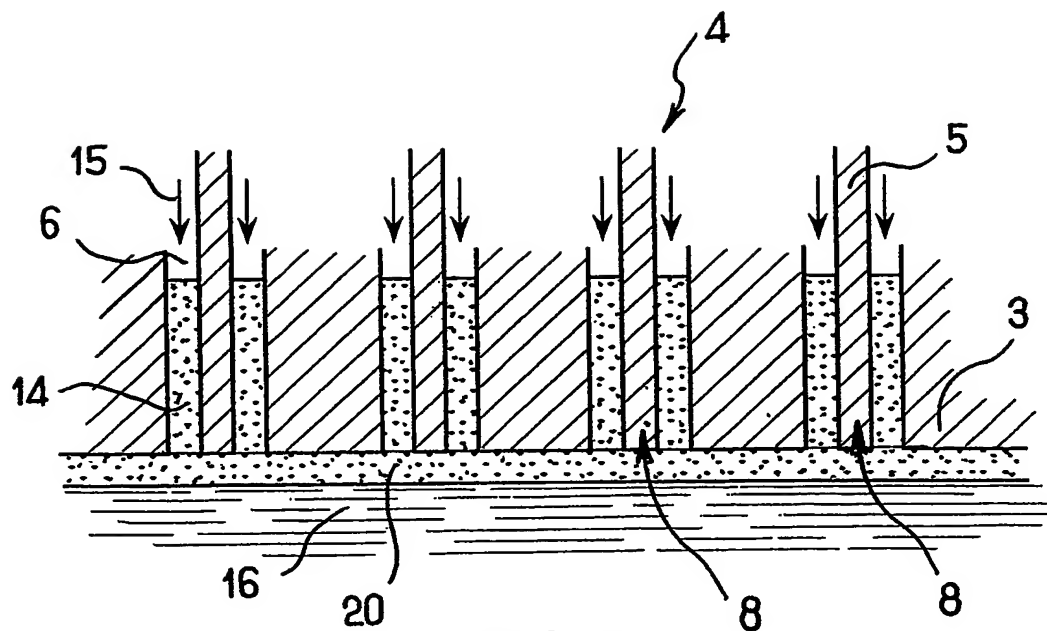


FIG. 8

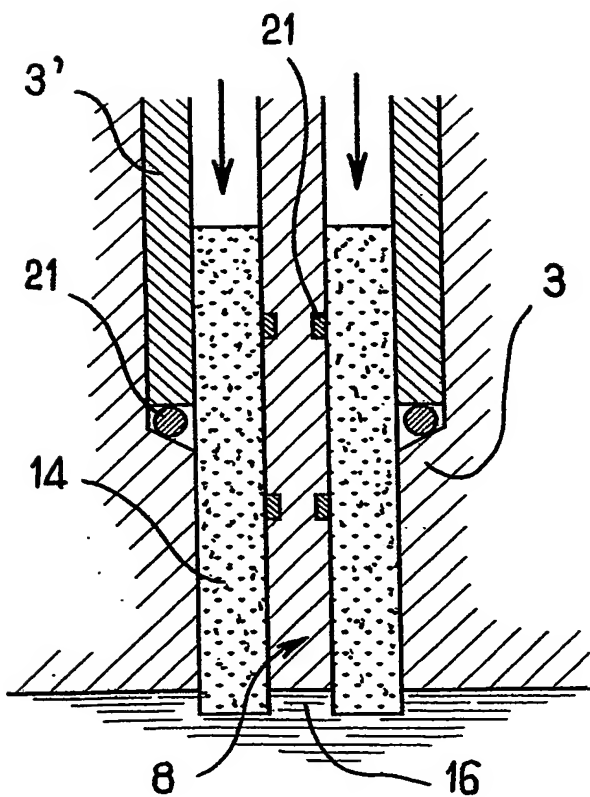


FIG. 9

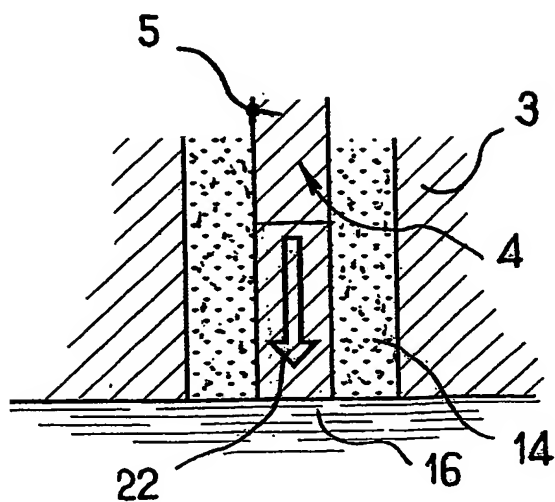


FIG. 10

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No.

PCT/FR 03/01661

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER  
 IPC 7 H01J37/32 H05H1/46

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)  
 IPC 7 H01J H05H

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

WPI Data, PAJ, EPO-Internal

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 6 060 836 A (ANDO YASUNORI ET AL) 9 May 2000 (2000-05-09)  column 4, line 38 -column 6, line 16; figures	1,2,4, 6-8,10, 11
A	EP 1 075 168 A (METAL PROCESS) 7 February 2001 (2001-02-07) the whole document	1,8,13
A	FR 2 702 119 A (METAL PROCESS) 2 September 1994 (1994-09-02) the whole document	1,2,4, 6-8,11
A	US 6 114 811 A (WU JENG-MING) 5 September 2000 (2000-09-05) abstract; figures	1,13

☐ Further documents are listed in the continuation of box C.

☒ Patent family members are listed in annex.

## \* Special categories of cited documents:

- "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- "E" earlier document but published on or after the international filing date
- "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
- "&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

30 September 2003

Date of mailing of the international search report

07/10/2003

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2  
 NL - 2280 HV Rijswijk  
 Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
 Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Schaub, G



# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

Inten

Application No

PCT/FR 03/01661

Patent document cited in search report		Publication date		Patent family member(s)	Publication date
US 6060836	A	09-05-2000	JP	2959508 B2	06-10-1999
			JP	10229000 A	25-08-1998
EP 1075168	A	07-02-2001	FR	2797372 A1	09-02-2001
			EP	1075168 A1	07-02-2001
			JP	2001102200 A	13-04-2001
			US	6407359 B1	18-06-2002
FR 2702119	A	02-09-1994	FR	2702119 A1	02-09-1994
			EP	0613329 A1	31-08-1994
			JP	6290898 A	18-10-1994
			US	5536914 A	16-07-1996
US 6114811	A	05-09-2000	DE	19603685 C1	21-08-1997
			CA	2244956 A1	07-08-1997
			WO	9728555 A1	07-08-1997
			DE	59705185 D1	06-12-2001
			EP	0878020 A1	18-11-1998
			JP	2000504146 T	04-04-2000

A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE  
CIB 7 H01J37/32 H05H1/46

Selon la classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois selon la classification nationale et la CIB

## B. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTE

Documentation minimale consultée (système de classification suivi des symboles de classement)

CIB 7 H01J H05H

Documentation consultée autre que la documentation minimale dans la mesure où ces documents relèvent des domaines sur lesquels a porté la recherche

Base de données électronique consultée au cours de la recherche internationale (nom de la base de données, et si réalisable, termes de recherche utilisés)

WPI Data, PAJ, EPO-Internal

## C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

Catégorie *	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
A	US 6 060 836 A (ANDO YASUNORI ET AL) 9 mai 2000 (2000-05-09)  colonne 4, ligne 38 - colonne 6, ligne 16; figures	1, 2, 4, 6-8, 10, 11
A	EP 1 075 168 A (METAL PROCESS) 7 février 2001 (2001-02-07) le document en entier	1, 8, 13
A	FR 2 702 119 A (METAL PROCESS) 2 septembre 1994 (1994-09-02) le document en entier	1, 2, 4, 6-8, 11
A	US 6 114 811 A (WU JENG-MING) 5 septembre 2000 (2000-09-05) abrégé; figures	1, 13



Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents



Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe

## \* Catégories spéciales de documents cités:

- "A" document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent
- "E" document antérieur, mais publié à la date de dépôt international ou après cette date
- "L" document pouvant jeter un doute sur une revendication de priorité ou cité pour déterminer la date de publication d'une autre citation ou pour une raison spéciale (telle qu'indiquée)
- "O" document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens
- "P" document publié avant la date de dépôt international, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée

"T" document ultérieur publié après la date de dépôt international ou la date de priorité et n'appartenant pas à l'état de la technique pertinent, mais cité pour comprendre le principe ou la théorie constituant la base de l'invention

"X" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive par rapport au document considéré isolément

"Y" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison étant évidente pour une personne du métier

"&" document qui fait partie de la même famille de brevets

Date à laquelle la recherche internationale a été effectivement achevée

30 septembre 2003

Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale

07/10/2003

Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale  
Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Fonctionnaire autorisé

Schaub, G

# RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Renseignements relatifs aux membres des familles de brevets

Der. Internationale No

PCT/FR 03/01661

Document brevet cité au rapport de recherche		Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
US 6060836	A	09-05-2000	JP 2959508 B2	06-10-1999
			JP 10229000 A	25-08-1998
EP 1075168	A	07-02-2001	FR 2797372 A1	09-02-2001
			EP 1075168 A1	07-02-2001
			JP 2001102200 A	13-04-2001
			US 6407359 B1	18-06-2002
FR 2702119	A	02-09-1994	FR 2702119 A1	02-09-1994
			EP 0613329 A1	31-08-1994
			JP 6290898 A	18-10-1994
			US 5536914 A	16-07-1996
US 6114811	A	05-09-2000	DE 19603685 C1	21-08-1997
			CA 2244956 A1	07-08-1997
			WO 9728555 A1	07-08-1997
			DE 59705185 D1	06-12-2001
			EP 0878020 A1	18-11-1998
			JP 2000504146 T	04-04-2000